



ВЛИЯНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА СУТОЧНУЮ ДИНАМИКУ ХАОТИЧНОСТИ ЭКГ

Н.З. Кайгородова, Л.Н. Сухарева, А.С. Эйдукайтис, М.В. Яценко

Ритмическая деятельность сердца характеризуется наличием детерминированного хаоса, который может отражать адаптивность организма, отличающуюся индивидуальностью. Интересным в этом плане может быть исследование хаотичности в динамике сердечной деятельности у разных психотипов, организм которых неодинаково реагирует на экстремальные факторы внешней среды, в том числе и по биоритмологическим критериям, например, на макроуровне в суточной динамике физиологических показателей. В связи со сказанным целью данной работы явилось исследование суточной динамики уровня хаотичности ЭКГ в зависимости от уровня экстравертности, нейротизма и личностной тревожности. Работа была проведена на 10 испытуемых, у которых 6 раз в сутки через 4 часа записывалась ЭКГ во 2-м стандартном отведении в автоматическом режиме. Замеры производились с 5 повторностями. Анализ хаотичности осуществлялся методом построения аттрактора и оценки его размерности. Сравнение геометрии аттракторов ЭКГ у разных психотипов выявило индивидуальные различия в подвыжности структуры аттрактора при повторных замерах: наибольшая стабильность фазового портрета ЭКГ была обнаружена у испытуемых с низким уровнем нейротизма. Полученные результаты также свидетельствовали, что среднесуточные значения фрактальной размерности были достоверно выше в группах нестабильных, тревожных, экстравертов (особенно в группах эмоционально нестабильных). Анализ суточной динамики исследуемого параметра выявил хорошо выраженный суточный ритм уровня хаотичности в группах высокотревожных, нестабильных во всех замерах. При этом в группах низкотревожных и интровертов данный показатель во время суток сохранялся на постоянном уровне во всех повторностях, а в группах экстравертов и стабильных хорошо выраженный суточный ритм был выявлен только в одном замере. Максимально хаотичная ЭКГ регистрировалась в утренние часы, а наиболее стабильная - в дневные и вечерние. При этом существенных различий в положении максимума и минимума показателя фрактальной размерности аттрактора в исследуемых группах обнаружено не было. Таким образом, пластичность поведения коррелирует с особенностями биоритмостатуса как на макро-, так и на микроуровне.

Введение

Объективное исследование индивидуальных особенностей психофизиологического статуса организма человека, классификация и типизация этих особенностей является чрезвычайно важной в теоретическом и прикладном аспектах задач. От ее решения зависят ответы на такие вопросы, как адаптивность и устойчивость психофизиологической сферы индивидуума и конкретные механизмы ее организации, эффективность деятельности в различных условиях, профессиональная ориентация и профотбор, предрасположенность к

аварийным ситуациям и некоторым видам патологии, а также индивидуализация профилактических, реабилитационных и терапевтических мероприятий. В настоящее время исследований, посвященных этому направлению, так много, что они выделились в самостоятельную дисциплину, называемую дифференциальной психофизиологией. Одной из задач данного научного направления является поиск и определение наиболее информативных признаков, характеризующих особенности индивидуальности человека и его реагирования на факторы окружающей среды.

Установлено, что индивидуально-типологические особенности коррелируют с биоритмологическими характеристиками функционирования систем организма как на макроуровне - суточные, недельные, месячные ритмы и др. [1]¹, так и на микроуровне - ритм ЭКГ, ЭЭГ и др. [2]². При этом известно, что нарушения биоритмологической структуры системы предшествуют изменению других её характеристик, например, при адаптации либо при заболевании [3]³. Отсюда логично предположить, что адаптивные различия психотипов, которые отмечались неоднократно [2]⁴, определяются особенностями биоритмологического статуса данных групп индивидуумов. При этом исследование биоритмологических характеристик на макроуровне, хотя и является перспективным, имеет, прежде всего, теоретический интерес. Прогностическая ценность такого исследования, в силу его сложности, ограничена. Изучая ритмостатус организма на микроуровне, обычно ограничивались рассмотрением стационарного⁵ компонента в динамической характеристике физиологических функций и в лучшем случае лишь констатировали наличие нестационарного компонента, рассматривая его как случайное явление, либо как отражение переходного процесса. В настоящее время установлено, что появление нестационарного компонента вызвано либо случайным процессом, то есть шумом, либо детерминированным процессом, порожденным какими-то правилами. Нестационарные детерминированные явления получили название хаоса, и их обнаружение требует применения специфических методов. Один из таких методов предполагает построение доминирующей в фазовом пространстве траектории - аттрактора и оценку его фрактальной размерности. Настоящая работа имела своей целью исследование биоритмологических критериев индивидуальной адаптации на макро- и микроуровнях.

Материалы и методы

Были проведены две серии экспериментов:

1) запись ЭКГ на 10 испытуемых 6 раз в сутки с шестью повторностями в условиях умеренного климата;

2) запись ЭКГ при острой адаптации к аридной зоне (г.Нукус) на 8 испытуемых 6 раз в сутки с десятью повторностями.

ЭКГ регистрировалась на одноканальном кардиографе и автоматически с использованием «ЭКГ-триггера» в положении лежа после 10 мин. релаксации во 2-м стандартном отведении. Для оценки уровня хаотичности использовался расчет фрактальной размерности D по формуле

$$D = \lim \log n(e) / \log(1/e) \quad \text{при } e \rightarrow 0,$$

где $n(e)$ - минимальное число N -мерных кубов со стороной e , необходимое для того, чтобы покрыть множество [4-6]. Кроме того рассчитывались показатели

¹ А также Слоним А.Д., 1976; Qautherie M., 1973 и др.

² А также Русалов В.М. с соавт., 1988; Gilliland K. et al., 1981; Heffernan-Colman Collen J. et al., 1992 и др.

³ А также Моисеева Н.И., 1978 и 1989; Слоним А.Д., 1976 и др.

⁴ А также Шорин Ю.П., 1991 и др.

⁵ Здесь авторы не совсем удачно применяют термины «стационарный» и «нестационарный» компонент, понимая под этим периодические и непериодические процессы. - Прим. рецензента.

вариационного анализа ЭКГ по А.Р.Баевскому [7]. Рассчитанные показатели подвергались статистической обработке и сравнивались в зависимости от уровня экстравертности, нейротизма и личностной тревожности. Психотипы определялись по опросникам Айзенка и Спилбергера - Ханина. Различия считались достоверными при $p < 0.05$.

Результаты и их обсуждение

Известно, что ритмическая деятельность сердца характеризуется наличием детерминированного хаоса [8,9]⁶. На первом этапе настоящей работы было показано, что сердечная деятельность описывается странным аттрактором, фрактальная размерность и геометрия которого зависят от ряда факторов и неодинаковы у разных лиц. Предстояло выяснить, в каких именно характеристиках детерминированной нестационарности проявляются индивидуальные различия. Анализировались: среднесуточный уровень D , характер суточной динамики уровня хаотичности кардиоинтервалов, стабильность фрактальной размерности от замера к замеру у разных психотипов в условиях умеренного климата и при действии жары. Полученные данные свидетельствуют, что достоверные различия в среднесуточном уровне хаотичности сердечного ритма (СР) обнаружены, прежде всего, в группах эмоционально стабильных и нестабильных испытуемых. При этом в первой группе фрактальная размерность аттракторов достоверно ниже, чем во второй: 1.19 ± 0.05 у стабильных и 1.35 ± 0.04 у нестабильных испытуемых. Получена хорошая воспроизводимость данных при повторных замерах (табл. 1).

В группах, различающихся по уровню личностной тревожности и экстравертности, достоверных различий по анализируемой характеристике обнаружено не было ни в одном из замеров.

Таблица 1

Уровень хаотичности сердечного ритма в зависимости от психотипов

	I замер	II замер	III замер	t_{st}
стаб.	1.17 ± 0.08	1.22 ± 0.04	1.18 ± 0.04	2.18
нестаб.	1.31 ± 0.04	1.36 ± 0.04	1.37 ± 0.04	
t_{ϕ}	3	2.8	5	
тревож.	1.312 ± 0.04	1.37 ± 0.05	1.38 ± 0.04	2.00
нетрев.	1.275 ± 0.06	1.322 ± 0.04	1.28 ± 0.07	
t_{ϕ}	0.5	0.83	1.25	
экстр.	1.32 ± 0.05	1.35 ± 0.05	1.38 ± 0.04	2.18
интров.	1.25 ± 0.07	1.32 ± 0.05	1.26 ± 0.07	
t_{ϕ}	0.9	0.4	1.5	

Таким образом, индивидуальные различия во фрактальной размерности аттрактора последовательности кардиоинтервалов проявились в среднесуточном уровне величины D , в выраженности и константности [10] суточного ритма уровня хаотичности.

Как можно видеть из табл. 2-7⁷, максимально хаотичный сердечный ритм

⁶ А также *Molinari J., Dumermuth G.*, 1992.

⁷ В табл. 2-7 цифры, отмеченные *, означают положение max и min, а ** - достоверную разницу между max и min.

Таблица 2

**Суточная динамика уровня хаотичности кардиоинтервалов
в группе экстравертов в разные замеры**

№	8.00	12.00	16.00	20.00	24.00	4.00
I замер	*1.41±0.06	1.30±0.05	1.28±0.06	1.29±0.07	*1.26±0.06	1.38±0.05
II замер	1.36±0.05	*1.43±0.04	1.30±0.05	**1.27±0.05	1.37±0.05	1.37±0.05
III замер	1.41±0.02	1.38±0.04	1.33±0.06	*1.325±0.03	1.39±0.04	*1.44±0.05
$t_{st}=2.20$						

Таблица 3

**Суточная динамика уровня хаотичности сердечного ритма
в группе интровертов в разные замеры**

№	8.00	12.00	16.00	20.00	24.00	4.00
I замер	1.22±0.09	*1.32±0.08	1.28±0.06	1.25±0.065	1.23±0.08	*1.22±0.065
II замер	*1.37±0.06	1.36±0.07	*1.26±0.05	1.30±0.05	1.28±0.05	1.33±0.03
III замер	1.21±0.09	*1.34±0.08	1.29±0.08	1.21±0.06	*1.19±0.08	1.33±0.07
$t_{st}=2.20$						

Таблица 4

**Суточная динамика уровня хаотичности кардиоинтервалов
в группе эмоционально стабильных испытуемых в разные замеры**

№	8.00	12.00	16.00	20.00	24.00	4.00
I замер	1.01±0.03	*1.21±0.16	1.11±0.01	1.08±0.09	*0.99±0.05	1.03±0.06
II замер	*1.28±0.03	1.23±0.10	*1.13±0.05	1.15±0.01	1.28±0.03	1.24±0.02
III замер	1.01±0.02	**1.37±0.10	1.11±0.01	1.08±0.01	**1.00±0.01	1.16±0.05
$t_{st}=2.78$						

Таблица 5

**Суточная динамика уровня хаотичности кардиоинтервалов
в группе эмоционально нестабильных испытуемых в разные замеры**

№	8.00	12.00	16.00	20.00	24.00	4.00
I замер	**1.39±0.05	**1.24±0.05	1.31±0.04	1.30±0.05	1.28±0.05	1.36±0.03
II замер	1.37±0.04	**1.43±0.04	1.31±0.04	**1.30±0.04	1.36±0.04	1.36±0.04
III замер	1.39±0.03	1.37±0.04	1.33±0.05	**1.32±0.03	1.37±0.04	**1.42±0.045
$t_{st} = 2.06$						

Таблица 6

**Суточная динамика уровня хаотичности сердечного ритма
в группе низкотревожных испытуемых в разные замеры**

№	8.00	12.00	16.00	20.00	24.00	4.00
I замер	1.29±0.09	*1.32±0.07	1.27±0.07	1.29±0.08	*1.21±0.07	1.26±0.06
II замер	1.31±0.03	*1.35±0.06	1.32±0.06	1.295±0.04	*1.36±0.04	*1.29±0.05
III замер	1.28±0.07	*1.34±0.05	1.30±0.08	1.25±0.06	*1.23±0.10	1.33±0.06
$t_{st} = 2.00$						

Таблица 7

**Суточная динамика уровня хаотичности кардиоинтервалов
в группе высокотревожных испытуемых в разные замеры**

№	8.00	12.00	16.00	20.00	24.00	4.00
I замер	1.37±0.05	1.30±0.04	1.29±0.05	**1.25±0.04	1.28±0.06	*1.38±0.04
II замер	1.41±0.07	**1.44±0.04	**1.26±0.04	1.365±0.07	1.34±0.06	1.41±0.04
III замер	1.40±0.02	1.41±0.05	1.37±0.04	**1.32±0.02	*1.42±0.04	**1.42±0.06
$t_{st} = 2.18$						

регистрировался в ночное и утреннее время, а наиболее стабильный - в дневные и вечерние часы. При этом принципиальных различий в положении максимального и минимального значений фрактальной размерности аттрактора на временной шкале в исследуемых группах не обнаружено. В то же время необходимо отметить, что в случае выраженности СР, его форма не стабильна в одной и той же группе и у одних и тех же испытуемых при повторных замерах, что свидетельствует о высокой подвижности уровня хаотичности СР и согласуется с природой самого явления.

Одним из широко используемых методов анализа кардиоинтервалов является метод, разработанный А.Р.Баевским [7] и позволяющий оценивать активность и соотношение автономного и центрального контуров регуляции кардиоинтервалов.

Таблица 8

**Влияние гипертермии на уровень хаотичности
кардиоинтервалов у разных психотипов**

Психотип	Умеренный климат	Гипертермия (Нукус)	t
Экстраверт	1.35±0.05	1.21±0.06	3.0
Интроверт	1.27±0.06	1.24±0.05	0.4
Стабильный	1.24±0.04	1.3±0.05	1.0
Нестабильный	1.35±0.04	1.16±0.05	3.2
Низкотревожный	1.295±0.065	1.33±0.02	0.5
Высотревожный	1.36±0.045	1.13±0.02	4.6
Среднее	1.33±0.05	1.23±0.04	1.7

Значения коэффициентов корреляции между некоторыми вариационно-статистическими показателями сердечного ритма и показателем фрактальной размерности множества

	<i>D</i>	ИН	ВПР	ИВР	ПАПР
<i>D</i>	1.0	0.098	-0.42	-0.11	0.10
ИН		1.0	0.83	0.98	0.65
ВПР			1.0	0.82	0.50
ИВР				1.0	0.62
ПАПР					1.0

ИН - индекс напряжения,
 ВПР - вегетативный показатель ритма,
 ИВР - индекс вегетативного равновесия,
 ПАПР - показатель активности процессов регуляции.

Расчет коэффициента корреляции между вариационно-статистическими показателями, отражающими активность различных уровней контуров регуляции СР, и величиной *D* обнаружил существование значимой связи лишь для вегетативного показателя ритма при $R_{кр} = 0.32$ (табл. 9). Исходя из сказанного, можно сделать предположение, что хаотичность обусловлена активностью автономного контура регуляции, обусловленного ритмической деятельностью синусного узла сердца. Усиление центральных влияний, по-видимому, приводит к снижению хаотичности и усилению стационарности.

Как известно, хаотичность физиологических функций может быть связана с адаптивными возможностями организмов [11], поэтому было решено рассмотреть воздействие факторов внешней среды на структуру аттрактора и его фрактальную размерность. Полученные данные свидетельствуют, что при адаптации к жаре среднесуточный уровень хаотичности ниже, чем в умеренном климате: 1.23 ± 0.04 и 1.33 ± 0.05 , соответственно. При этом, как видно из табл. 8, у разных психотипов реактивность уровня хаотичности отличается при действии жаркого климата. Так, если в группах экстравертов, нестабильных и высокотревожных выявлено достоверное снижение данного показателя, то в группах интровертов, стабильных и низкотревожных отмечено сохранение хаотичности на исходном уровне. В связи с этим в условиях жары фрактальная размерность аттрактора кардиоинтервалов в отличие от таковой в условиях умеренного климата оказалась выше у эмоционально стабильных (1.3 ± 0.05) и у низкотревожных (1.33 ± 0.02) по сравнению с нестабильными (1.16 ± 0.05) и высокотревожными (1.13 ± 0.02). Таким образом, индивидуальные различия проявились и в реактивности уровня хаотичности кардиоинтервалов при действии экстремальных факторов.

Согласно закону перемежающейся активности функциональных структур, сформулированному Г.Н.Крыжановским (см. [9]), в состоянии относительного покоя ритмы отдельных функциональных частей не синхронизированы друг с другом. На основе попеременной работы клеточных структур обеспечивается непрерывное функционирование целого органа и оптимальный ритм работы функциональных единиц. При стрессовых воздействиях при патологии может наблюдаться взаимная синхронизация ритмов отдельных функциональных структур, вследствие чего создается напряжение в работе органа. Этим можно, по-видимому, объяснить обнаруженное снижение уровня хаотичности при адаптации к жару.

Таким образом, индивидуальные различия в уровне хаотичности ЭКГ в большей степени определялись эмоциональной стабильностью-нестабильностью испытуемых. При этом как по среднему уровню, так и по суточной динамике и подвижности уровня хаотичности от замера к замеру выделилась группа эмоционально нестабильных испытуемых. Из литературы известно, что

пластичность биоритмостатуса на макроуровне СР прямо коррелирует с пластичностью поведения [12]. Можно предположить, что данная закономерность прослеживается и на микроуровне.

ВЫВОДЫ

1. Обнаружены индивидуальные различия в уровне хаотичности ЭКГ. При этом в большей степени имела значение эмоциональная стабильность-нестабильность индивидуумов.

2. Индивидуальные различия проявились в среднем значении фрактальной размерности ЭКГ, в выраженности и стабильности суточного ритма уровня хаотичности, в особенностях геометрии аттрактора ЭКГ и ее изменчивости при повторных замерах.

3. Выявлено изменение уровня хаотичности ЭКГ при воздействии гипертермии. При этом наблюдалось снижение среднего показателя фрактальной размерности аттрактора в экстремальных условиях.

4. Реактивность уровня хаотичности при адаптации различалась у разных психотипов. При этом наиболее подвижным показателем фрактальной размерности был в группе эмоционально нестабильных лиц.

Библиографический список

1. Моисеева Н.И., Сысоев В.М. Временная среда и биологические ритмы. Л.:Наука, 1981. 127 с.
2. Кулагин Б.В. Основы профессиональной психодиагностики. Л.:Медицина, 1984. 215 с.
3. Деряпа Н.Р., Мошкин М.П., Посный В.С. Проблемы медицинской биоритмологии. М.:Медицина, 1985. 206 с.
4. Ахромеев Т.С. Парадоксы мира нестационарных структур//Компьютеры и нелинейные явления. М.:Наука, 1988. С. 44.
5. Гласс Л., Мэки М. От часов к хаосу. Ритмы жизни. М.:Мир, 1991. 248 с.
6. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. М.:Мир, 1990. 342 с.
7. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М.:Наука, 1984. 220 с.
8. Dvorak I., Siska J., Wackermann J. et al. Evidence for interpretation of the EEG as a deterministic chaotic process with a low dimension // *Activ. nerv. super. Praha*:1985. Vol.28, № 3. P. 228.
9. Soong A.C.K., Stuart C.J.M. Evidence of chaotic dynamics underlying the human alpha-rhythm electroencephalogram//*Biol. Cybern.* 1989. Vol. 62, № 1. P. 55.
10. Степанова С.И. Биоритмологические аспекты проблемы адаптации. М.:Наука, 1986. 241 с.
11. Babloyantz A., Destexhe A. Strange attractors in the human cortex // *Disorder in human oscillatory systems* / Ed. L.Rensing. 1986. С. 48.
12. Казин Э.М. Циркадный ритм адренокортикальной активности при адаптации организма к факторам окружающей среды. Автореф. дисс...док.биол.наук. Л.:1982. 37 с.

Алтайский государственный
университет

Поступила в редакцию 6.02.96
после переработки 4.11.96

THE INFLUENCE OF THE INDIVIDUAL AND TYPOLOGICAL PECULIARITIES ON THE DAILY DYNAMICS OF THE ECG CHAOS

N.Z. Kaygorodova, L.N. Sukhareva, A.S. Eidukaytis, M.V. Yazenko

The heart rhythmical activity is characterised by the deterministic chaos which can reflect the organism adaptation differing by individuality. In this respect it is very inter-

esting to investigate the chaos in the heart activity dynamics of different psychotypes, the organism of which does not react identically on the extreme factors of the environment including biorhythmological criteria, for example, at the macrolevel in the daily dynamics of the physiological indexes. So the aim of this work is the investigation of the daily dynamics level of the ECG chaos in its dependence on extroversion level, neuroticism and personal anxiety. Ten healthy volunteers were investigated. The ECG data were registered 6 times during the day with an interval of 4 hours, they were taken with the second standard ECG leads in an automatic regime. The measures were taken with 5 repetitions. The chaos analysis was done by the method of the attractor construction and the value of its dimension. The comparison of the ECG attractors geometry taken in the different psychotypes demonstrated the individual differences in the mobility of the attractors structures during the repeated measures: the largest stability of the phase ECG portrait was discovered among the volunteers having the low level of neuroticism. The obtained results also proved that the mean daily fractal dimension meanings were truly higher in the unstable, anxious and extrovert groups (especial in the emotionally unstabled groups). The daily dynamics analysis of the investigated parameter demonstrated the clearly marked daily rhythm of the chaotic level in the high-anxious groups which are unstable in all dimensions. This index was stable in all repetitions during the day in the groups of low-anxious and introverts but in the groups of extroverts and stables the well-expressed daily rhythm was exposed only in one measurement. The maximum chaotic ECG was registered only in the morning hours and more stabled ECG in the day time and in the evening hours. The sufficient differences in the position of maximum of the fractal dimension attractor index in the investigated groups were not discovered. That is why the plasticity of the behaviour correlates with the peculiarities of the biorhythmostatus both at the macro- and microlevels.



Кайгородова Надежда Захаровна родилась в городе Барнауле (1956), окончила биологический факультет Алтайского государственного университета (1979). После окончания поступила в аспирантуру Ленинградского государственного университета. Защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата биологических наук по теме «ЭЭГ показатели умственной работоспособности в условиях дефицита времени» (1984). Соавтор монографии.



Айдукайтис Андрей Станиславович - родился в Рубцовске (1973). С отличием окончил биологический факультет Алтайского государственного университета (1996). В настоящее время аспирант АГУ.



Яценко Михаил Владимирович - родился в Барнауле (1973). Окончил биологический факультет Алтайского государственного университета (1996). В настоящее время аспирант АГУ.